

METODOLOGÍA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA EL ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍDRICOS EN GUAYAQUIL, ECUADOR

TERRITORIAL ORDERING METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF NATURAL SYSTEMS OF PLUVIAL DRAINAGE IN GUAYAQUIL, ECUADOR

Juan Carlos Torres Espinoza¹ (juan.torreses@ug.edu.ec)

Jesús Rafael Hechavarría Hernández² (jesus.hechavarria@ug.edu.ec)

Mirian Elizabeth Lomas Franco³ (mirian.lomasf@ug.edu.ec)

RESUMEN

En el artículo se describe una metodología de ordenamiento territorial para el análisis de sistemas hídricos, con el objetivo de brindar insumos para la definición de normas y usos de suelo en el área urbana y rural del cantón Guayaquil, a través del desarrollo e identificación de información asociada a la delimitación de franjas de protección ante riesgos naturales, como un mecanismo para consolidar el suelo y los recursos de los territorios aledaños a la ciudad. Entre los resultados del presente estudio están la elaboración de cartografía temática digital, la zonificación de áreas no urbanizables y normativas para la regulación de franjas de protección de ríos y esteros.

PALABRAS CLAVES: Recursos naturales (O13), desarrollo sostenible (Q01), desastres naturales (Q54), crecimiento demográfico (Q56), uso de la tierra (R52).

ABSTRACT

The article describes a territorial ordering methodology for the analysis of water systems, with the objective of providing inputs for the definition of norms and land uses in the urban and rural area of the Guayaquil canton, through the development and identification of information associated with the delimitation of strips of protection against natural risks, as a mechanism to consolidate the soil and resources of the territories surrounding the city. Among the results of this study are the development of digital thematic cartography, the zoning of non-urbanizable areas and regulations for the regulation of protection bands of rivers and estuaries.

KEY WORDS: Natural resources (O13), sustainable development (Q01), natural disasters (Q54), population growth (Q56), land use (R52).

El proceso de crecimiento de las ciudades, como es el caso de Guayaquil, “ha propiciado cambios en la relación entre la urbe y su entorno, que han llevado a que la expansión y el crecimiento propio de la ciudad consuman el suelo y los recursos de los territorios contiguos” (Fernández y De la Vega, 2017, p. 186).

En este contexto, el desarrollo integral territorial hace imprescindible el definir y actualizar la identificación de los suelos no urbanizables, a consecuencia de la

¹ Máster en Tecnologías de Edificación. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, Ecuador.

² Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, Ecuador.

³ Máster en Tecnologías de Edificación. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, Ecuador.

presencia de zonas potenciales de inundación y de áreas protegidas dispersas, colindantes con usos urbanos. Ello permitirá regular el usufructo del territorio, asociado a la clasificación y normativa remitida por la categoría del uso del suelo pertinente (Fernández y De la Vega, 2017).

El plan de ordenamiento territorial del cantón Guayaquil, promulgado en enero del 2012, y en su reforma cartográfica de febrero del 2015, califica el suelo rural del cantón como suelos no urbanizables, sin identificar si eran extractivos, protegidos o de riesgo y vulnerabilidad, o si correspondían a centros poblados de menor escala.

En las áreas urbanas y rurales del cantón Guayaquil no se encuentran identificados los *suelos de protección*, que por sus características físicas constituyen factores de riesgo para los asentamientos humanos, como es el caso de las áreas inundables y las subcuencas y microcuencas hidrográficas (Asamblea Nacional del Ecuador, 2016). “Subcuenca es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden conformar una cuenca. Microcuenca es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca” (Faustino y Jiménez, 2000, p. 25).

Entre las causas del problema señalado tenemos: La falta de insumos técnicos para la delimitación de áreas de riesgo, vacíos en las ordenanzas municipales que establecen la clasificación y subclasificación del suelo y la falta de normativa para la delimitación de franjas de protección de ríos y esteros. Entre los efectos se citan: La presencia actual de asentamientos humanos formales e informales en áreas de riesgo, la calificación de no urbanizable en la mayor parte del suelo rural, incluido los centros poblados menores y la deforestación de los bordes y obstaculización de los cauces en ríos y esteros.

Según la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (Asamblea Nacional del Ecuador, 2016), el ordenamiento territorial tiene por objeto la regulación de las intervenciones en el territorio, proponiendo e implementando normas que orienten la formulación de políticas públicas, entre otras, a través de la identificación de zonas de riesgo en el ámbito de la circunscripción territorial analizada. En el ámbito de la educación superior actual, se destaca la participación de la academia en los procesos de ordenamiento territorial, urbanismo y la tecnología de sistemas constructivos en las líneas y sublíneas de investigación derivadas de dicho dominio.

El presente estudio tiene por finalidad brindar insumos para la definición de normas y usos de suelo en el área urbana y rural del cantón Guayaquil. En tal sentido, “la variable riesgo en los procesos de planificación y ordenamiento territorial garantizará el derecho del hábitat, seguro y resiliente” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Determinación del área de influencia del estudio

El área de intervención del estudio corresponde a los territorios pertenecientes al cantón Guayaquil, de manera particular, al área de expansión urbana de la ciudad de Guayaquil y a los territorios de las cinco parroquias rurales del cantón (figura 1).

Figura 1. Área de influencia de estudio.



Metodología para la delimitación de las subcuencas y microcuencas

La delimitación de las unidades hidrográficas se desarrollan desde los métodos manuales o directamente en pantalla (método A), hasta los que se realizan digitalmente de forma semiautomática, utilizando las herramientas SIG y la información base geoespacial (método B). Todas las formas de delimitar conducen al mismo objetivo, sin embargo, la diferencia radica en la precisión (Rosas, 2009).

Método para la descripción de la red de drenaje y para el estudio morfológico de las subcuencas y microcuencas (Método A).

Para la delimitación y descripción de la red de drenaje, de manera manual y directamente en pantalla, se utilizó: a) las hojas cartográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000, después reducidas a escala 1:100.000, b) el modelo de drenaje de cada unidad (paralelo, rectangular o dendrítico), c) el orden de los cauces (primer orden sin ramificaciones, segundo orden, con la unión de 2 de primer orden, etc.), d) la trayectoria, e) las pendientes en los diferentes tramos, f) la geometría del cauce, g) los afluentes de alimentación y h) la forma de las vertientes. Delimitadas e identificadas las unidades hidrográficas en las hojas cartográficas, sobre estas se midió y expresó numéricamente un conjunto de variables lineales, de superficie y de relieve (desnivel), relacionadas con la morfología.

Se identificaron 38 unidades de drenaje en el Cantón, de los cuales 17 se ubican en el área rural y en la zona de expansión urbana de Guayaquil (tabla 1). En cualquier confluencia, se tuvo en cuenta, que el río principal será siempre aquel que va por la unidad de mayor área de drenaje (Rosas, 2009). En algunos casos, la identificación cartográfica requirió posteriormente el ajustar la información en el trabajo de campo.

Tabla 1. Subcuencas y microcuencas según cartografía IGM y características de los

drenajes

Unidad de drenaje	Componentes de la unidad de drenaje			
Subcuencas área de expansión urbana (06)	Río Petrillo	Río de la Balsa	Río Chongón	Río Daular
	Río Aneta	Río Candil		
Subcuencas del área rural del cantón Guayaquil (06)	Estero Camarona- Río Grande	Río del Mate	Río San Miguel	Río de Arena
	Río Gala	Río Tengel		
Microcuencas del área rural del Cantón Guayaquil (05)	Río Culebra	Estero La Iguana	Río de Mariana	Río de Olmos
	Río Siete.			
Microcuencas del área urbana - Zona de Planificación Chongón (14)	Quebrada Gallegos	Quebrada Guayjaso	Río Cerezo	Quebrada S/N 1
	Quebrada S/N 2	Quebrada S/N 3	Quebrada S/N 4	Quebrada S/N 5
	Quebrada S/N 6	Quebrada S/N 7	Quebrada S/N 8	Quebrada S/N 9
	Quebrada S/N 10	Canal Javier Salitral		
Microcuencas con influencia sobre embalse Chongón (07)	Río Bedén	Río Boysén	Río Las Pinas	Río Bálsamo
	Río Cangaguila	Río sin nombre	Río Pedernal	

Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de Escobar (2000).

Método de codificación espacial y atributos de las cuencas hidrográficas, insumos utilizados y metodología para la generación de microcuencas (Método B).

Codificación espacial y atributos de las cuencas:

- a) Incorporación de columna de codificación en tabla de atributos.
- b) Identificación de curso del río principal.
- c) Identificación de unidades hidrográficas (cuenca).
- d) Codificar unidades tipo cuenca e intercuenca.

Insumos

- a) Modelo de elevación NASA-JPL (SRTM) Shuttle Radar Topography Mision (NASA). El modelo digital de elevación es un modelo digital del terreno cuyos datos almacenados representan valores de altitud (Rosas, 2009).
- b) Cartografía base IGM esc. 1:50.000.
- c) Cartografía base IGM esc. 1:250.000.
- d) Generación de unidades hidrográficas codificadas en formato Shp.

Metodología para generar microcuencas:

- a) Manual de procedimientos de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de Senagua (Rosas, 2009).
- b) Flujo del módulo Hydrology de ArcGis, con raster inicial DEM o SRTM (modelo de elevación digital). El módulo hidrológico facilita identificar la dirección y calcular la acumulación de flujo de las corrientes y delinear unidades hidrográficas.
- c) Raster generados: Modelo que representa la dirección de flujo de la hidrografía (está definido por la dirección más inclinada de descendencia de cada celda) y modelo que representa las cuencas hidrográficas.

Este método generó 107 unidades hidrográficas codificadas en formato *Shp*, considerando la incorporación de nanocuencas al estudio. Las subcuencas y microcuencas de la tabla 1 corresponden a los mismos territorios que ocupan las subcuencas 01, 06, 07, 08, 09 y 10 expuestos en la tabla 2.

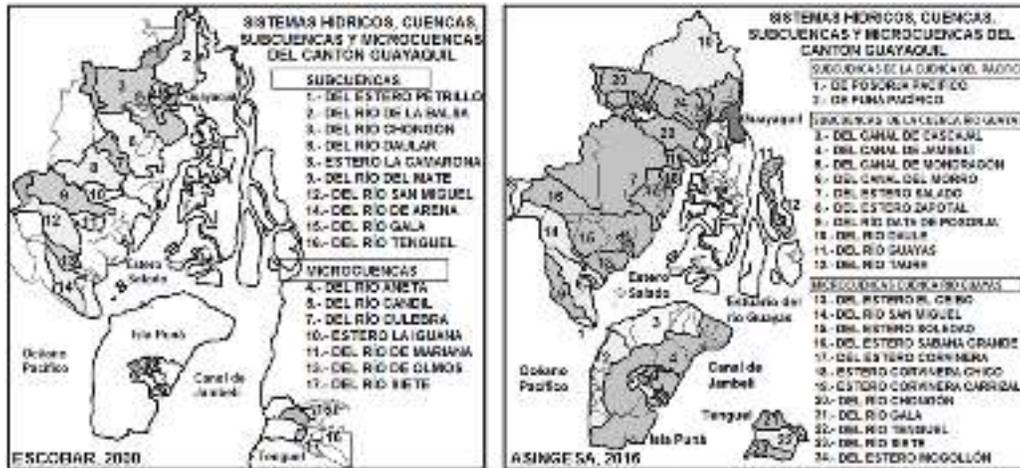
Tabla 2. Subcuencas y microcuencas según modelo de elevación NASA-JPL (SRTM)

#	Subcuenca	Microcuencas	#	Subcuenca	Microcuencas
01	De Posorja Pacífico	03	07	Del Estero Salado	32
02	De Puná Pacífico	11	08	Del canal de Jambelí - Tenguel	03
03	Del canal de Cascajal	06	09	Del río Data de Posorja	02
04	Del canal de Jambelí (Puná)	20	10	Del río Daule	03
05	Del canal de Mondragón	03	11	Del río Guayas	04
06	Del canal del Morro	07	12	Del río Taura	01
Subtotal: 12 subcuencas y 95 microcuencas dentro del área de estudio, para un total de 107 unidades hidrográficas.					

Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de ASINGESA (2016).

Figura 2. Delimitación de Subcuencas y microcuencas hidrográficas del Cantón

Guayaquil.



Elaboración propia. Fuentes: Mapa Método A (Eschbar, 2000) y Mapa Método B (ASINGESA, 2016).

Producción de los elementos geográficos zonas de inundación

Una zona de inundación corresponde a un territorio que en determinados meses del año puede ser afectado o cubierto de agua, debido a la acción de las precipitaciones estacionales o desbordamientos de ríos, canales, lagos, o por efectos antrópicos.

En el sector en estudio las unidades hidrográficas constituyen cursos secos de ríos, de escaso fondo, que en la estación lluviosa conducen agua, la cual supera la capacidad de contención y permeabilidad del terreno y se desborda en sectores adyacentes, generando zonas de inundación.

El origen de las amenazas por inundación puede ser diverso, de forma aislada o combinada, a través de lluvias, desborde de cursos de agua, escurrimiento superficial, rotura de estructuras de conducción y deslizamientos en zonas inestables (ASINGESA, 2016).

Metodología para la identificación de zonas de inundación

Este proceso se realiza de la siguiente manera:

- a) Utilización de sistemas de información geográfica (SIG), para integrar información espacial referenciada y preparar y adaptar la información espacial obtenida de varias fuentes.
- b) Generación de información relevante (microcuencas y polígonos homogéneos), con la información recopilada.
- c) Intersecciones y consultas espaciales vinculadas con la Geodatabase, para asignar a la cobertura base, la categoría de no urbanizable o urbanizado por cada polígono.
- d) Ajustar y afinar el mapa de amenaza de inundación (MAI) de la Secretaría de Gestión de Riesgo (SGR), mediante facilidades de análisis del SIG.
- e) Selección de objetos espaciales o coberturas existentes, para identificar polígonos relacionados con zonas de inundación.

- f) Generación de cobertura base con 16.000 polígonos homogéneos con diferentes atributos de suelos e información por infiltración y movimiento de masas.
- g) Intersección de cobertura base con el mapa de amenaza de inundación de la SGR (vectorizado), para obtener el promedio ponderado de la amenaza.
- h) Finalmente, se obtiene la selección geográfica por atributos, filtrando resultados ponderados, para luego comparar resultados del estudio con el mapa de la SGR.

En el estudio se consideraron 5 variables (de las 6) de Muy Baja a Muy Alta, relacionadas entre ellas mediante geoevaluaciones, para realizar análisis y modelamiento (tabla 3). El mapa generado es, por lo tanto, un mapa de amenaza de inundación.

Tabla 3. Rangos de valoración de los de amenazas por inundaciones.

AMENAZAS					
Muy Alta Superior 6	Muy Alta 5	Alta 4	Media 3	Baja 2	Muy Baja 1
Valles aluviales, depresiones o paleo cauces	Valles aluviales, depresiones o paleo cauces	Depresiones o en valles indiferenciados	Zonas bajas o depresiones	Terrazas medias o indiferenciadas de zonas altas	Partes altas de relieves
Inundable en todo evento. Efecto permanece mayor tiempo	Inundable en todo evento	Inundable por desbordamiento o lluvias intensas	Moderada por eventos excepcionales	Escasa	Ninguna
Restricción Muy Alta	Restricción Alta	Restricción Moderada	Escasa Restricción	Sin Restricción	Sin Restricción

Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de ASINGESA (2016).

Las metodologías aplicadas son las más adecuadas para el presente estudio, porque obedecen a los procedimientos establecidos por la Secretaría Nacional del Agua (Senagua) en su manual para la delimitación de unidades hidrográficas, además, por la utilización del Mapa de Amenazas de Inundaciones (MAI), elaborado por la misma Secretaría de Gestión de Riesgo (SNG), entre otros. La utilización de sistemas de información geográfica (SIG) y las herramientas del programa ArcGis complementan la validez de las propuestas, considerando la vigencia de esta tecnología en todas las entidades de planificación del país, la que es compatible con la utilizada en los procesos de actualización de planes de ordenamiento territorial.

Regulación de franjas de protección en ríos, esteros y en otros drenajes naturales

Se detallan a continuación varias normativas de regulación de franjas de protección

destinadas a ríos, esteros y canales naturales:

- a) Franjas de protección para ríos y esteros de por lo menos 25 m medidos desde el nivel de aguas altas, que incluye la anchura de las crecidas frecuentes y de la vegetación de ribera, según la Ordenanza de Ordenamiento Territorial del Cantón Guayaquil, art. 30, literal “a”.
- b) En función de la pendiente, para la protección de las márgenes y el control de la calidad del agua se recomienda una franja de protección a lo largo de los cauces. En general, para el Cantón Guayaquil sería recomendable que las franjas de protección tengan mínimo 15 metros (tabla 4), medidos desde el borde externo de los drenajes (Escobar, 2000).

Tabla 4. Anchos recomendados de la franja de protección de los cauces naturales de agua

Pendiente del terreno		Ancho recomendado	Pendiente del terreno		Ancho recomendado
Porcentaje	Grados	Metros	Porcentaje	Grados	Metros
0	0	8	40	21.8	32
10	5.7	14	50	26.6	38
20	11.3	20	60	31.0	44
30	16.7	26	70	36.0	50

Fuente: Estudio de los sistemas hídricos del área de planificación urbana Chongón (F) (Escobar, 2000)

- c) La forma más económica de protección de orillas en un curso de agua es evitar intervenciones en una franja no menor de cinco metros a cada lado del cauce. Lo recomendable es quince metros a cada lado (Rivera, citado por Arguello, 2009). La Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER, citado por Arguello, 2009), recomienda las siguientes previsiones: *Cauces en forma de V*, frecuentes en cuencas altas, 30 m desde la línea del cauce; *Cauces en llanuras aluviales*, según el nivel máximo de inundación en 50 años; y, *Cauces en forma de U*, predominante en cuencas medias, con márgenes inestables, el retiro será igual a la altura de la ladera, no debe ser < 15 m ni > 30 m.

Generación de los objetos geográficos zonas no urbanizables

Los polígonos homogéneos indicados tienen entre los campos de la tabla, información geomorfológica de suelos, susceptibilidad a la erosión hídrica y de cobertura y uso del suelo, que combinados con las zonas de inundación y de movimientos de masas permitieron hacer una primera categorización de zonas no urbanizables, a través de la filtración de resultados mediante consulta espacial, discriminando rango de pendientes, cobertura de uso de suelo, entre otros, para agruparlos por capacidad de uso de la tierra.

Para cada uno de esos polígonos se identificó las áreas de afectación por inundación de la SGR que estaban insertos en ellos y se calculó el promedio ponderado por área del nivel de afectación a la inundación, fue ese el valor que se asignó en los polígonos creados. La clasificación de zonas con afectación por inundación se generó a partir de los polígonos homogéneos (1:25.000) y el mapa de afectación de la SGR (escala 1:50.000). El valor de afectación por inundación es a su vez un promedio de una serie de tiempos, serie en la cual el o los eventos extremos a los que hace referencia la observación, son un dato más de la data analizada.

Mapas de inundación

La consideración espacial de los factores antes mencionados da como resultado el mapa de susceptibilidad a inundaciones de la SGR, donde a cada unidad geográfica de terreno se le asigna un valor como resultado de la combinación de los parámetros analizados. Se establecieron 5 clases (Muy baja, Baja, Media, Alta, Muy Alta) en función de la propensión del terreno a ser afectado por inundaciones de índole pluvial dentro de los rangos registrados en las isoyetas.

Los resultados del mapa de susceptibilidad son una aproximación basada en la información espacial existente y en valores promedios y disponibles de precipitaciones, que requieren verificación en el terreno y ajustes con datos de ocurrencia de eventos extremos.

Elaboración de la base de datos geográfica

La base de datos geográfica contiene información generada o incorporada a partir de diferentes fuentes y diferentes escalas, su unidad mínima de información es 1:50.000. Entre los procesos desarrollados, se mencionan los siguientes:

- a) Enlazar las coberturas de las cartas topográficas y generar los objetos geográficos microcuencas, mediante el uso de las herramientas de ArcGis.
- b) Clasificar y vectorizar el MAI de la SGR (convertir imágenes de pixeles a vectores), para identificar categorías y realizar la corrección topológica (corrección de errores).
- c) Ajustar la clasificación del MAI a partir de la intersección espacial de microcuencas.
- d) Generar polígonos y corrección topológica en los mapas del CLIRSEN.
- e) Construir el catálogo de objetos, de acuerdo con las categorías, subcategorías y códigos.
- f) Caracterizar la intersección de los objetos *suelos* y *geomorfología* con microcuencas, incorporando los objetos en la base de datos y creando dominios según los objetos.

La base de datos geográfica, para efectos de poder generar polígonos de zonas de inundación y zonas no urbanizables, es un repositorio de elementos cartográficos específicos a esos fines.

Resultados

La cartografía resultante del estudio, respondió a los siguientes ámbitos temáticos:

- a) Mapa de sistemas hídricos, cuencas, subcuencas y microcuencas, a través de la identificación y delimitación de unidades hidrográficas.
- b) Mapa de susceptibilidad a inundaciones, incluidas las áreas potenciales de inundación adyacentes a subcuencas y microcuencas.
- c) Mapa de zonificación de áreas no urbanizables, con polígonos caracterizados como zonas no urbanizables en base a información disponible en instituciones competentes.

Normativa de Regulación de franjas de protección en ríos, esteros y en otros drenajes naturales:

- a) Franja de protección de ríos y esteros ante crecidas frecuentes y vegetación riparia.
- b) Protección de márgenes y control de calidad del agua, según pendiente del terreno.
- c) Protección de orillas a lo largo de un curso de agua, para evitar intervenciones.
- d) Previsiones de protección en función de la forma del cauce y el nivel de inundación.
- e) Previsiones para reparar y proteger la vegetación riparia junto a cauces de ríos.

Los resultados son relevantes, por cuanto se focalizan en proporcionar herramientas e insumos técnicos confiables, para justificar y validar procesos de ordenamiento territorial, objetivo principal del estudio. Como resultante se cuenta con cartografía digital de áreas susceptibles de inundación, la zonificación de áreas no urbanizables y normativas para la regulación de franjas de protección de ríos y esteros. El análisis realizado cumplió con todos los objetivos propuestos, partiendo de la indispensable delimitación previa de subcuencas y microcuencas hidrográficas.

REFERENCIAS

- Arguello, G. (2009). *Las normas para la Zonificación por Micro-cuencas Hidrográficas como Instrumento del Ordenamiento Urbano Sostenible* (tesis de maestría). Universidad de Guayaquil. Recuperada de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6096/1/TESIS%20DE%20MAESTRIA-ARQ.%20GUILLERMO%20ARGUELLO%20SANTOS-%2010-nov-09%20%23%209.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo. Registro Oficial No. 790, 5 de julio de 2016*. Recuperado de <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu166410.pdf>
- Escobar, R. (2000). *Estudio de los Sistemas Hídricos del Área Rural del Cantón Guayaquil* (documento central Proyecto ECU/94/005). Municipalidad de Guayaquil-Naciones Unidas PNUD/HABITAT.
- Faustino, J. y Jiménez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=99oOAQAAIAAJ>
- Fernández, P. y De la Vega, S. (2017). ¿Lo rural en lo urbano? Localidades periurbanas en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 43(130), 185-206. Recuperado de <http://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/1847>

Rosas, L. (2009). *Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Geográficas. Caso: Ecuador*. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/IG/6_manual_de_procedimientos_de_delimitacion.pdf

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). *Plan Nacional de Desarrollo del 2017 al 2021–Toda una vida*. Senplades. Recuperado de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf